

Efektivitas Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Nangka Sebagai Bioadsorben Logam Pb dari Limbah Industri Farmasi

Ginayanti Hadisoebroto^{1*}, Lisna Dewi¹, Hesty Nuur Hanifah¹

¹*Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Al Ghifari, Bandung, 40293*

**E-mail: gina.hs11@gmail.com; hesty.nuur@gmail.com*

Abstrak

Limbah cair industri farmasi mengandung senyawa organik dan senyawa anorganik. Salah satu pencemar anorganik yang terkandung dalam air limbah industri farmasi adalah logam berat timbal (Pb). Logam Pb dapat merusak ekosistem pada lingkungan dan menimbulkan berbagai penyakit berbahaya. Salah satu cara untuk mengolah limbah Pb adalah dengan proses adsorpsi menggunakan adsorben. Karbon aktif merupakan adsorben yang banyak digunakan karena memiliki keserbagunaan dan keunggulan, seperti luas permukaan yang tinggi, porositas dan terdapat gugus fungsi permukaan dalam jumlah yang besar. Limbah kulit buah dapat dimanfaatkan sebagai bioadsorben karbon aktif karena memiliki kandungan selulosa, lignin maupun pektin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan efektivitas adsorpsi karbon aktif kulit nangka melalui penentuan pH optimum, waktu kontak optimum dan massa optimum. Selain itu juga dilakukan karakterisasi bioadsorben karbon aktif diantaranya analisis kadar air, daya serap terhadap methylene blue, serta pemeriksaan ukuran pori-pori dan kandungan kimia oleh alat SEM-EDS. Penetapan kadar Pb dilakukan menggunakan alat Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) pada panjang gelombang 283.3 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahwa karbon aktif dari kulit nangka mempunyai efektivitas adsorpsi terbesar yaitu 96.07 %. Disimpulkan bahwa karbon kulit buah nangka dapat digunakan sebagai bioadsorben logam berat Pb dari limbah industri farmasi karena memiliki efektivitas adsorpsi yang tinggi dan hasil karakterisasinya memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI.

Kata Kunci: *bioadsorben, karbon aktif, kulit nangka, logam Pb*

PENDAHULUAN

Industri farmasi dapat menghasilkan limbah cair yang dihasilkan dari berbagai aktivitas proses produksi antara lain yaitu proses pencucian alat produksi, kegiatan laboratorium dan sisa produk yang tidak memenuhi spesifikasi atau dari kegagalan proses. Limbah cair yang dihasilkan mengandung senyawa organik dan anorganik terlarut (Oktem *et al.*, 2008). Salah satu cemaran logam yang konsentrasinya paling tinggi yang berasal dari industri farmasi adalah logam Pb (Susanti, dkk.,

2014). Logam timbal (Pb) dapat menyebabkan kerusakan berbagai organ tubuh manusia, terutama sistem saraf, ginjal, sistem jantung, sistem reproduksi, dan sistem pembentukan darah (Amaral *et al.*, 2010). Kadar logam berat dalam limbah cair industri dapat diturunkan dengan menggunakan beberapa metode antara lain yaitu reduksi dan pengendapan, pertukaran ion, elektrokimia, adsorpsi, dan *reverse osmosis* (membran). Adsorpsi menjadi teknik yang paling efektif karena mudah dioperasikan, hemat biaya, mudah dalam desain dan ramah lingkungan (Gericke *et al.*, 2013). Kandungan selulosa yang tinggi sebagai biopolimer sebagai adsorben yang banyak digunakan untuk dekontaminasinya (Gericke *et al.*, 2013). Adsorben dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber dan asalnya yaitu ada yang alami, biologis dan ada yang berasal dari limbah lingkungan (Samarth *et al.*, 2012).

Penggunaan adsorben alternatif berasal dari alam yang banyak dikembangkan sekarang adalah adsorben dari limbah berbasis pertanian (bioadsorben). Penyerapan polutan pada bioadsorben terjadi melalui interaksi fisikokimia (Samarth *et al.*, 2012). Kelebihan dari bioadsorben adalah biaya rendah, efisiensi lebih tinggi, tidak memerlukan nutrisi tambahan, regenerasi bioadsorben, dan meminimalkan lumpur kimia dan biologis (Yaashikaa *et al.*, 2021). Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Hanifah & Hadisoebroto (2021) menunjukkan bahwa kulit nangka memiliki efektivitas yang tinggi sebagai penyerap logam Pb sehingga cocok untuk dijadikan bioadsorben limbah Pb dari industri farmasi. Kulit nangka bisa diubah menjadi karbon aktif sehingga bisa meningkatkan efektivitas adsorpsinya. Karbon aktif merupakan adsorben yang banyak digunakan karena memiliki porositas dan permukaan yang dapat bereaksi dengan molekul yang memiliki gugus fungsi yang spesifik (Wong *et al.*, 2018). Tujuan penelitian yaitu membuat karbon aktif dari serbuk kulit buah nangka untuk selanjutnya ditentukan pH optimum, waktu kontak optimum, dan dosis optimum sehingga bisa didapat efektivitas adsorpsi karbon aktif dari kulit buah nangka. Pengukuran efektivitas bioadsorben terhadap limbah cair farmasi dilakukan menggunakan alat Spektrofotometri Serapan Atom (SSA), pada panjang gelombang 283.3 nm.

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Sampel

Buah nangka diperoleh dari tempat penjualan buah-buahan di daerah Ciwastra Kecamatan Buah Batu, Kota Bandung.

Determinasi Tanaman

Determinasi tanaman dilakukan di Herbarium Jatinangor, Laboratorium Taksonomi Tumbuhan, Jurusan Biologi, FMIPA UNPAD.

Pembuatan Serbuk Kulit Buah

Kulit nangka yang telah dibersihkan, masing-masing dipotong tipis dan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 100°C. Kemudian dihaluskan dengan menggunakan blender dan diayak menggunakan mesh no.100 untuk menyeragamkan bentuk.

Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Nangka

Serbuk kulit buah yang telah kering dipirolysis menggunakan alat pembakar tanur dengan suhu 350°C. Arang yang dihasilkan selanjutnya dihaluskan secara manual menggunakan stamper dan mortar lalu diayak menggunakan ayakan 100 mesh.

Aktivasi Kimia Karbon Aktif Kulit Nangka

Karbon aktif kulit nangka ditimbang sebanyak 10 g dan diaktivasi menggunakan 100 mL larutan Na₂CO₃ 5,0 %, lalu dilakukan pengadukan selama 5 menit dan didiamkan selama 24 jam. Campuran disaring dan dicuci kembali dengan akuades. Filtratnya diuji dengan indikator universal hingga mencapai pH 7.0. Kemudian arang dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam (SNI, 1995).

Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Nangka

Ditentukan karakterisasi karbon aktif yang meliputi penetapan kadar air menggunakan oven, Analisis Daya Serap terhadap Metilen Biru menggunakan Spektrofotometri UV-Vis dan Analisis menggunakan alat SEM-EDS (Sahara, dkk., 2019 dengan modifikasi).

Pembuatan Kurva Kalibrasi Standar Pb(NO₃)₂

Larutan standar Pb dibuat konsentrasi 0.01; 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; dan 1 ppm, lalu diukur serapannya menggunakan instrument AAS pada panjang gelombang maksimum 283.3 nm dan dilakukan replikasi sebanyak 3 kali.

Pengukuran Kadar Pb (Timbal) Pada Sampel Limbah

Sampel limbah dihomogenkan dan didestruksi basah dengan penambahan HNO₃, setelah berwarna jernih, sampel dipindahkan ke dalam labu ukur 50 ml, tambahkan akudes sampai tanda tera dan homogenkan, lalu diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometri serapan atom (Shimadzu varian AA7000) dengan panjang gelombang 283.3 nm (SNI, 2009).

Penentuan pH, Waktu Kontak dan Dosis Optimum Bioadsorben

Sampel serbuk kulit nangka sebanyak 75 mg ditambahkan ke dalam 10 mL limbah cair. Selanjutnya dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* pada pH yang berbeda – beda yaitu dari pH 2, 3, 4, 5, dan 6. Setelah selesai, larutan dianalisis dengan SSA dan dilakukan replikasi masing-masing variasi pH sebanyak 3 kali. Setelah didapatkan pH optimum, dilakukan penentuan waktu kontak optimum dengan variasi 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Setelah itu dilakukan penentuan massa optimum dengan variasi 25, 50, 75, 100 dan 125 mg.

Analisis Data

Efektivitas Adsorpsi Logam Pb

Efektivitas adsorpsi logam Pb dapat dianalisa dengan menghitung efektivitas penurunan kandungan logam (Hajar, dkk., 2016):

$$E_f(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100$$

Dimana:

E_f = Efektivitas penurunan

Y_i = kandungan logam berat Pb awal (mg/L)

Y_f = kandungan logam berat Pb akhir (mg/L)

Uji Verifikasi Metode

Verifikasi metode dilaksanakan dengan melakukan pengujian terhadap parameter akurasi, presisi, linearitas, batas deteksi (LOD) dan batas kuantisasi (LOQ).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Determinasi Kulit Buah Nangka

Hasil determinasi menunjukkan kulit nangka yang digunakan termasuk dalam spesies *Artocarpus heterophyllus* Lam.

Preparasi Karbon Aktif Kulit Nangka

Aktivasi Secara Fisika

Proses aktivasi secara fisika dilakukan terhadap serbuk kulit nangka yang telah dikeringkan dan dihaluskan. Proses aktivasi dilakukan dengan cara memanaskan serbuk kulit buah menggunakan crucible dengan suhu 350°C selama 1 jam. Hasil yang didapatkan adalah warna karbon aktif berwarna hitam.



Gambar 1. Karbon Aktif Kulit Nangka.

Aktivasi Secara Kimia

Kulit nangka yang sudah diaktivasi secara fisika, direndam dengan larutan aktivator Na_2CO_3 5% kemudian diaduk dan ditutup menggunakan aluminium foil, diamkan pada suhu ruang selama 24 jam. Perendaman tersebut bertujuan untuk mendegradasi atau penghidrasi molekul organik selama proses pemanasan, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik pada aktivasi berikutnya, dehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga adsorben, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses pemanasan dan melindungi permukaan adsorben sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat dikurangi.

Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Buah

Kadar Air

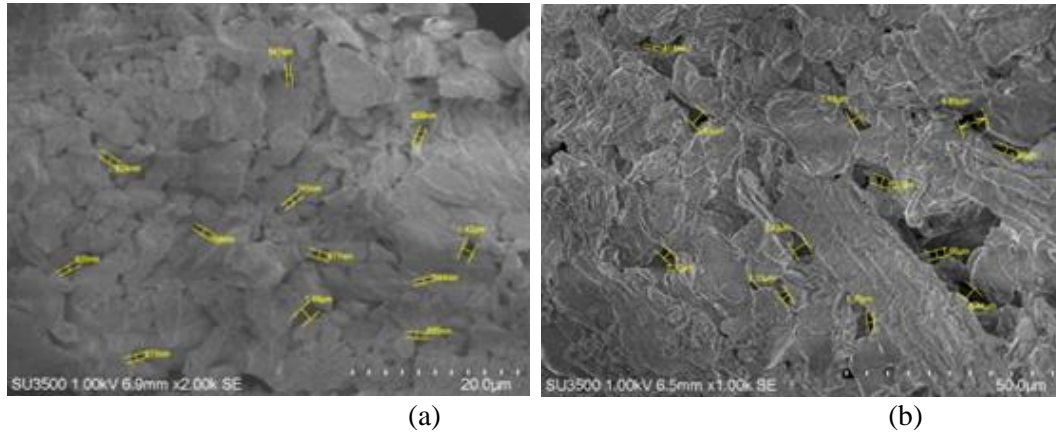
Kadar air sangat berpengaruh pada masa simpan bahan. Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan kerentanan terhadap aktivitas mikroba, oleh karena itu harus dilakukan pengeringan bahan sampai batas kadar air tertentu (Agoes, dkk., 2007). Karbon aktif kulit nangka mempunyai kadar air 8%. Hal ini memenuhi persyaratan kadar air karbon aktif, dimana kadarnya harus kurang dari 15% (SNI, 1995).

Daya Serap terhadap Metilen Biru

Penentuan daya serap terhadap metilen biru bertujuan untuk mengetahui kemampuan dalam menyerap larutan berwarna dengan ukuran molekul kurang dari 15 \AA atau 1.5 nm. Syarat daya serap terhadap metilen biru menurut SNI 06-3730-1995 adalah $>120 \text{ mg/g}$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa karbon aktif kulit nangka mempunyai daya serap terhadap *metilen blue* sebesar 162.61 mg/g , sehingga bisa disimpulkan bahwa karbon aktif kulit nangka cukup mempunyai kemampuan yang cukup bagus dalam menyerap larutan berwarna.

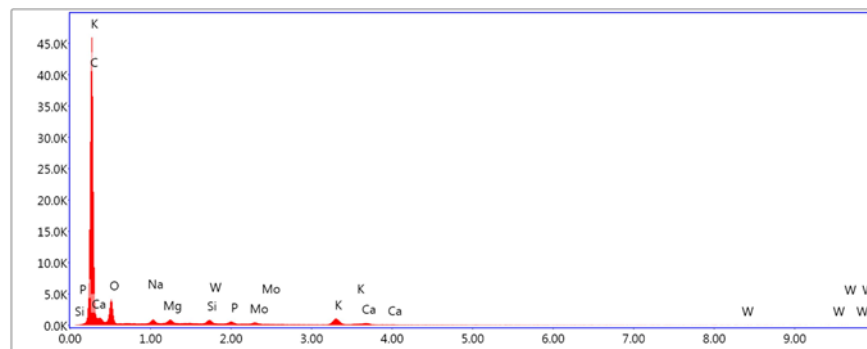
Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM)- Energy Dispersive Spectrometry (EDS)

Tujuan karakterisasi SEM adalah untuk mengetahui morfologi partikel dan diameter pori-pori, sedangkan uji EDS untuk mengetahui kandungan unsur penyusun pori yang terdapat pada karbon aktif kulit buah yang telah dibuat (Haris, dkk., 2019). Bentuk permukaan pori merupakan salah satu faktor yang berperan dalam kemampuan suatu adsorben untuk mengadsorpsi. Pori-pori yang terdapat pada karbon aktif dapat meningkatkan kemampuan mengadsorpsi adsorbat karena pori tersebut merupakan salah satu celah yang memperluas permukaan karbon aktif. Hasil pengujian SEM-EDS dapat dilihat pada gambar 2, 3, dan 4.



Gambar 2. Ukuran Pori-pori: (a) Serbuk Kulit Nangka, (b) Karbon Kulit Nangka.

Gambar 2 di atas menunjukkan ukuran pori-pori yang terdapat pada serbuk dan karbon kulit nangka dengan perbesaran 1000 kali. Ukuran pori-pori serbuk kulit nangka ada pada range 0.62-1.42 µm, sedangkan ukuran pori karbon kulit nangka memiliki range 0.82-6.65 µm. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif kulit nangka memiliki ukuran pori-pori yang lebih besar dibandingkan ukuran pori-pori serbuk kulit nangka. Proses aktivasi fisika dan kimia pada karbon aktif akan menyebabkan ukuran diameter pori karbon menjadi lebih besar, volume dalam pori menjadi lebih luas, dan pori-pori baru terbuka, sehingga kinerja dari karbon aktif lebih optimal (Prabarini & Okayadnya, 2014). Analisis SEM juga dilengkapi dengan analisis EDS yang dapat menunjukkan komposisi unsur kimia dari sampel. Hasil analisis EDS mengidentifikasi adanya unsur-unsur utama Karbon (C), Oksigen (O), Kalsium (Ca), Kalium (K), Silicon (Si), Natrium (Na), Magnesium (Mg).

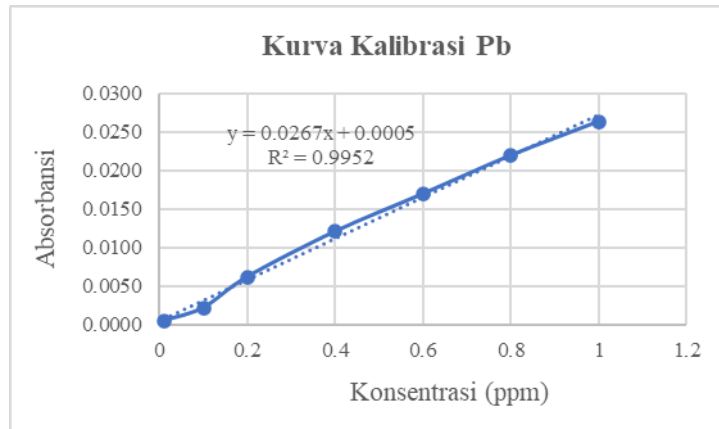


Gambar 3. Hasil EDS Karbon Kulit Nangka.

Dari hasil EDS, karbon aktif kulit nangka memiliki kandungan karbon sebesar 75.33%. Kandungan unsur karbon tersebut memenuhi persyaratan SNI 06-3730-1995, dimana karbon aktif disyaratkan memiliki kandungan C > 65%. Kandungan yang terbanyak kedua adalah oksigen serta unsur-unsur lainnya dengan jumlah bervariasi.

Hasil Kurva Kalibrasi

Konsentrasi kurva standar Pb yang diuji dengan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom yaitu sebesar 0.01 ppm, 0.1 ppm, 0.2 ppm, 0.4 ppm, 0.6 ppm, 0.8 ppm, 1 ppm. Dengan hasil data yang didapatkan sebagai berikut:



Gambar 4. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pb.

Hasil kurva kalibrasi dari tabel 3 dan gambar 5 menunjukkan hubungan kadar larutan standar dengan respon instrumen yang dinyatakan dalam grafik garis lurus (linear), dengan nilai r yang diperoleh sebesar 0.9952 dan persamaan garis regresi linear $y = 0.0267x + 0.0005$. Koefisien korelasi (r) menunjukkan derajat korelasi antara variabel independen x (absorbansi) dengan variabel dependen y (konsentrasi). Apabila nilai r di antara 0.8-1, tingkat hubungan antara variabel x dan y sangat kuat (Sugiyono, 2014).

Penentuan pH Optimum

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi ion logam berat adalah derajat keasaman (pH) (Tangio, 2013).

Tabel 1. Penentuan pH Optimum Karbon Aktif Kulit Nangka

pH	Efektivitas Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Nangka (%)
2	95.62
3	96.20
4	96.53
5	96.61
6	96.78

Penentuan pH optimum dilihat dari nilai efektivitas adsorpsi (%) yang tertinggi. Bila nilai efektivitasnya tinggi, maka jumlah Pb yang terserap oleh bioadsorben tinggi. Berdasarkan data di atas, pH optimum karbon aktif kulit nangka berada di pH 6. Kondisi optimum dicapai pada saat pengikatan ion Pb oleh gugus fungsi adsorben sudah maksimum. Setelah melewati pH optimum, efektivitas penyerapan logam cenderung turun karena mengalami kejenuhan. Pada saat pH larutan melewati pH optimumnya penyerapan akan berkurang karena pada pH yang semakin tinggi terdapat lebih banyak ion OH sehingga bereaksi dengan ion-ion logam dan menyebabkan ion logam mulai mengendap sehingga Pb yang terserap oleh bioadsorben menjadi semakin sedikit (Kristiyani, dkk., 2012).

Penentuan Waktu Optimum Karbon Aktif Kulit Nangka

Waktu kontak merupakan faktor selanjutnya yang mempengaruhi proses adsorpsi, karena dalam prosesnya dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan adsorben menyerap zat pencemar (Nurhayati, dkk., 2018).

Tabel 2. Penentuan Waktu Optimum Karbon Aktif Kulit Nangka

Waktu (menit)	Efektivitas Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Nangka (%)
15	88.22
30	92.15
45	87.92
60	88.52
75	89.13

Dari tabel 2 dapat terlihat bahwa karbon aktif kulit nangka mempunyai waktu optimum sebesar 30 menit. Setelah melewati waktu kontak optimum, efektivitas adsorpsi cenderung menurun. Hal ini karena terjadi proses penguraian kompleks adsorben-adsorbat menjadi molekul adsorben dan molekul adsorbat yang disebut desorpsi. Jadi logam Pb yang terserap di permukaan kulit buah akan kembali berkurang (Kristiyani, dkk., 2012).

Penentuan Massa Optimum Karbon Aktif Kulit Nangka, Kulit Semangka, dan Kulit Salak

Selain faktor pH dan waktu, faktor yang menentukan proses adsorpsi adalah massa adsorben.

Tabel 3. Penentuan Massa Optimum Karbon Aktif Kulit Buah

Massa (mg)	Efektivitas Adsorpsi (%)
25	87.92
50	89.13
75	94.26
100	96.07
125	94.87

Dari tabel 3 dapat terlihat bahwa massa optimum karbon aktif kulit nangka adalah 100 mg. Konsentrasi bioadsorben akan berpengaruh terhadap persentase hasil penyerapan logam Pb dalam limbah cair. Jumlah adsorben yang ditambahkan mempengaruhi efisiensi penyerapan, dimana hal ini sebanding dengan jumlah partikel dan luas permukaan adsorben sehingga menyebabkan sisi aktif adsorpsi dan efisiensi penyerapan meningkat (Hatiningsih, 2020). Kulit nangka mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi yaitu 96.07 %. Tingginya efektivitas dari kulit nangka disebabkan oleh tingginya kadar selulosa yaitu sebesar 27.75 % (Antony, 2017) dan tingginya kadar pektin yaitu sebesar 17.63 % (Koh *et al.*, 2014). Kulit nangka juga mempunyai banyak gugus fungsi, diantaranya adalah O-H, C-H, C=O, N-H, C-N. Gugus fungsional tersebut mempunyai afinitas yang kuat terhadap ion logam dan mampu mengikat ion logam melalui penggantian ion hidrogen dengan ion logam dalam larutan atau dengan sumbangan pasangan elektron dari gugus tersebut untuk membentuk kompleks dengan ion logam dalam larutan (Tangio, 2013). Selain itu berdasarkan hasil pengukuran SEM karbon aktif kulit nangka memiliki memiliki ukuran pori yang relatif besar sehingga memiliki kemampuan adsorpsi yang besar karena luas permukaannya menjadi lebih luas.

Uji Verifikasi

Uji Akurasi

Uji akurasi logam Pb menggunakan metode standar adisi pada 3 konsentrasi yaitu 0.1 ppm, 1 ppm dan 10 ppm, dibuat 3 replikasi dengan perlakuan yang sama. Hasil pengujian telah memenuhi persyaratan uji akurasi yaitu nilai % perolehan kembali (*% recovery*) ada pada range 85-115% (SNI, 2004).

Uji Presisi

Uji presisi logam Pb menggunakan metode standar adisi pada konsentrasi 1 ppm, dibuat replikasi sebanyak 7 kali dengan perlakuan yang sama. Hasil pengujian telah memenuhi persyaratan uji presisi yaitu nilai RSD di bawah 10% dan Horwitz ratio di bawah 2% (SNI, 2004).

LOD dan LOQ

Nilai *Limit of Detection* dan *Limit of Quantitation* diperoleh dari perhitungan standar deviasi residu kurva baku. Didapatkan nilai LOD sebesar 0.112 dan nilai LOQ sebesar 0.338.

KESIMPULAN

Bioadsorben karbon aktif kulit nangka memiliki kemampuan untuk menyerap logam Pb dengan efektivitas adsorpsi yang tinggi, yaitu sebesar 96.07% pada kondisi pH optimum 6, waktu optimum 30 menit dan massa optimum 100 mg.

DAFTAR PUSTAKA

- Agoes, G., Darijanto, S. T., dan Purwantini, E., 2007. *Teknologi Bahan Alam*. Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia
- Amaral, J. H., Rezende, V. B., Quintana, S. M., Gerlach, R. F., Barbosa, F., and Tanus-Santos, J. E., 2010. *The Relationship Between Blood and Serum Lead Levels In Peripartum Women and Their Respective Umbilical Cords*. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*. 107(6): 971-975.
- Antony, A. S., 2017. *Physicochemical Characterization of Jackfruit (Artocarpus integer (Thumb.)) Peel*. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 8(3): 2285-2295.
- Gericke, M., Trygg, J., and Fardim, P., 2013. *Functional Cellulose beads: Preparation, Characterization and Applications*. *Chemical Reviews*. 113(7): 4812–4836.
- Hajar, E. W. I., Sitorus, R. S., Mulianingtias, dan Welan, F.J., 2016. *Efektivitas Adsorpsi Logam Pb²⁺ dan Cd²⁺ Menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam*. *Konversi*. 5(1): 1-8.
- Haris, A., Nurhilal, O., dan Suryaningsih, S., 2019. *Pengaruh Konsentrasi Aktivator terhadap Daya Serap Iodin Arang Aktif dari Limbah Daun Ki Sabun (Filicium decipiens) dan Daun Mahoni (Swietenia mahagoni)*. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. Universitas Padjadjaran. 9(1): 1-7.
- Hatiningsih, F., 2020. *Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam Sebagai Adsorben Zat Warna Kuning Drill Proses Wantek*. Pusat Laboratorium Terpadu Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Hanifah, H., N., dan Hadisoebroto, G., 2021. *Perbandingan Efektivitas Bioadsorben Berbagai Serbuk Kulit Buah Terhadap Logam Pb Dari Limbah Cair Laboratorium Farmasi*. *Jurnal Al-kimia*. 9 (2): 188-200.
- Kristiyani, D., Susatyo, E. B., dan Prasetya, A. T., 2012. *Pemanfaatan Zeolit Abu Sekam Padi Untuk menurunkan Kadar Ion Pb²⁺ Pada Air Sumur, Indonesian*. *Journal of Chemical Science*. 1(1).
- Koh, P. C., Leong, C. M., and Noranizan, M. A., 2014. *Microwave-Assisted Extraction of Pectin from Jackfruit Rinds Using Different Power Levels*. *International Food Research Journal*. 21(5): 2091-2097.
- Prabarini, N., dan Okayadnya, D., 2014. *Penyisihan Logam Besi (Fe) pada Air Sumur dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri*. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 5(2): 33–41.
- Nurhayati, I., Sugito dan P. Ayu., 2018. *Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Dengan Adsorpsidan Pretreatment Netralisasi dan Koagulasi*. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 10(2).

- Oktem, Y.A., Ince, O., Sallis, P., Donnelly, T., and Ince, B. K., 2008. *Anaerobic Treatment of a Chemical Synthesis-Based Pharmaceutical Wastewater in a Hybrid Up Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*. *Bioresource Technology*. 99(5): 1089–1096.
- Sahara, E., Dahliani, N. K., dan Manuaba, I. B. P., 2017. *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Batang Tanaman Gunitir (Tagetes Erecta) dengan Aktivator NaOH*. *Jurnal Kimia*. 11(2).
- Samarth, D. P., Chandekar, C.J., and Bhadekar, R.K., 2012. *Biosorption of Heavy Metals from Aqueous Solution using Bacillus Licheniformis* *Int. J. Pure Appl. Sci. Technol.* 10: 12–9.
- Standar Nasional Indonesia. 1995. “*SNI 06-3730-1995: Arang Aktif Teknis*”. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Standarisasi Nasional Indonesia. 2009. *SNI-6989-6-2009: Cara Uji Tembaga (Cu) Dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) Flame*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Sugiyono. 2014. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Susanti, R., Mustikaningtyas, D., dan Sasi, F.A., 2014. *Analisis Kadar Logam Berat pada Sungai di Jawa Tengah*. *Saintekno*. 12(1).
- Tangio, J. S., 2013. *Adsorpsi Logam Timbal (Pb) Dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (Eichhornia crassipes)*. *Jurnal Entropi*. 8 (1): 500-506.
- Wong, S., Ngadi, N., Inuwa, I. M., and Hassan, O., 2018. *Recent Advances in Applications of Activated Carbon from Biowaste for Waste Water Treatment: A Short Review*. *Journal of Cleaner Production*. 175: 361-375.
- Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Saravanan, A., and Vo D-V, N., 2021. *Advances in Biosorbents for Removal of Environmental Pollutants: A Review on Pretreatment, Removal Mechanism and Future Outlook*. *J. Hazard. Mater.* 420.